Cabos para telecomunicações – Determinação da impedância característica

APRESENTAÇÃO

1) Este 2º Projeto de Revisão foi elaborado pela CE-03:046.02 - Comissão de Estudo de Métodos de Ensaios para Fios e Cabos Telefônicos - do ABNT/CB-03 - Comitê Brasileiro de Eletricidade, nas reuniões de:

21/01/2009	25/03/2009	07/10/2009

2) Este Projeto é previsto para cancelar e substituir a ABNT NBR 9132:1999, quando aprovado, sendo que nesse ínterim a referida norma continua em vigor;

3) Não tem valor normativo;

4) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória;

5) Tomaram parte na elaboração deste Projeto:

Participante	Representante
Cablena	Sérgio Pereira de Barros
Cemig	Geraldo Wagner O. Vilela
Dow	Márcio Teixeira Alves
Furukawa	Antonio Carlos Silva
Nexans	Edson Alberto T. de Souza
Prysmian	Tiago Rafael G. Silva Cirezola
Telcon	Evandro Lee Anderson
UL	Pedro Henrique Pacheco

Cabos para telecomunicações – Determinação da impedância característica

Telecommunications cables - Characteristic impedance

Palavras-chave: Cabos para telecomunicações. Impedância característica.
Descriptors: Telecommunications cable. Characteristic impedance.

Sumário

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras das Diretivas ABNT, Parte 2.

A ABNT NBR 9132 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaios para Fios e Cabos Telefônicos (CE-03:046.02). O seu 1º Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 05, de 15.05.2009 a 13.07.2009, com o número de Projeto ABNT NBR 9132.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

This Standard prescribes the method of test for characteristic impedance in telecommunications cables

1 Escopo

Esta Norma estabelece o método de ensaio para determinação da impedância característica em cabos para telecomunicações.

2 Referência normativa

O documento relacionado a seguir é indispensável à aplicaçãodesta norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5456, *Eletricidade geral*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 5456 e o seguinte.

3.1
perda de retorno
razão existente entre o sinal refletido e o sinal incidente, expressa em decibéis (dB)

4 Aparelhagem

4.1 Para a execução do ensaio em cabos de pares, ternas ou quadras, pode ser utilizado um dos seguintes conjuntos de equipamentos:

a) gerador de nível, detector de nível, transformador diferencial e impedância de simulação;

b) gerador de nível, detector de nível e ponte de impedância;

c) ponte de capacitância ou de impedância, de equilíbrio manual ou automático, com exatidão de ± 2 %. A ponte utilizada pode ser do tipo diferencial, isto é, que fornece a diferença entre a capacitância do par em medição e uma capacitância externa conhecida;

d) analisador de rede com canais de referência e de teste, capaz de medir impedância, kit de calibração, carga de terminação, adaptadores e computador ou analisador de funções para processar os dados coletados.

O gerador e o detector de nível, em qualquer dos casos, devem ter saídas balanceadas, com impedância de saída e entrada, respectivamente, próximas do módulo de impedância característica dos pares do cabo na frequência de medição.

4.2 Para a execução do ensaio em cabos coaxiais, pode ser utilizado um dos seguintes conjuntos de equipamentos:

a) analisador de rede com canais de referência e de teste, capaz de medir impedância, divisor de potência e ponte de impedância variável, kit de calibração, carga de terminação e adaptadores;

b) analisador de rede com canais de referência e de teste, capaz de medir impedância, kit de calibração, carga de terminação, adaptadores e computador ou analisador de funções para processar os dados coletados.

5 Métodos de ensaio

5.1 Corpo-de-prova

O corpo-de-prova deve ser obtido de uma amostra do cabo com comprimento mínimo de 100 m para a execução do ensaio.

5.2 Determinação da impedância característica a partir de valores de impedância do par em aberto e em curto-circuito

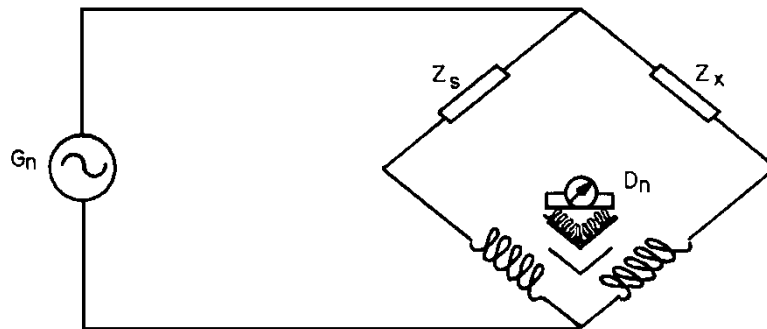
Utilizando-se o conjunto descrito em 4.1 - a), interligado conforme o circuito apresentado na Figura 1, determinar a impedância do par em aberto e em curto-circuito, devendo a impedância característica ser calculada através da seguinte equação.

$$Z_O = \sqrt{Z_a * Z_{cc}} \quad (\Omega)$$

onde

Z_O é a impedância característica do par, expressa em ohms (Ω);

Z_a é a impedância do par com a extremidade oposta em aberto, expressa em ohms (Ω);

Z_{CC} é a impedância do par com a extremidade oposta em curto-circuito, expressa em ohms (Ω).

Legenda:

G_n - gerador de nível

D_n - detector de nível

Z_X - impedância a ser determinada

Z_S - impedância de simulação

Figura 1 - Impedância característica pelo método da ponte de equilíbrio

5.3 Determinação da impedância característica a partir dos parâmetros primários

5.3.1 Utilizando-se o conjunto descrito em 4.1 alínea b), determinar os parâmetros primários do par.

Para determinação da resistência elétrica e indutância do par, manter em curto-circuito a extremidade não ligada ao equipamento.

Para determinação da capacitância e condutância do par, manter em aberto a extremidade não ligada ao equipamento.

5.3.2 A impedância característica do par deve ser calculada pela equação:

$$Z_O = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (\Omega)$$

onde

Z_O é a impedância característica complexa do par, expressa em ohms (Ω);

R é a resistência elétrica do par, expressa em ohms (Ω);

C é a capacitância do par, expressa em Farads (F);

L é a indutância do par, expressa em Henrys (H);

G é a condutância do par, expressa em Siemens (S);

ω igual a 2.π.*f*, onde *f* é a frequência de ensaio, expressa em Hertz (Hz).

5.4 Determinação da impedância característica por ressonância em frequência

5.4.1 Utilizando-se a equação a seguir, arbitrar um valor para "n", de modo que a frequência obtida seja próxima à de medição especificada para cada tipo de cabo:

$$f_n = \frac{n}{L.\sqrt{\varepsilon}} \quad \text{(MHz)}$$

onde

f_n é a frequência da ressonância, expressa em megahertz (MHz);

n é o número da ressonância da frequência escolhida, expresso em megahertz (MHz);

L é o comprimento do lance, expresso em metros (m);

ε é a constante dielétrica do material de isolação.

5.4.2 Com a frequência da ressonância calculada conforme 5.4.1, localizar a frequência de ressonância real, utilizando o conjunto de equipamento de ensaio interligado conforme o circuito apresentado na Figura 2.

5.4.3 Determinada a frequência de ressonância real deve-se aumentá-la até a localização das duas frequências de ressonância imediatamente superiores à primeira considerada.

NOTA Para a determinação da frequência de ressonância, manter em curto-circuito a extremidade do par não ligada aos equipamentos.

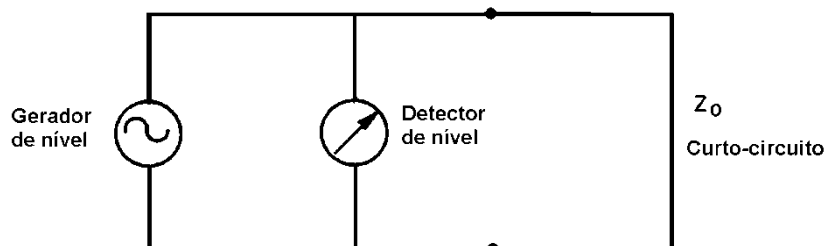



Figura 2 - Impedância característica pelo método de ressonância em frequência

5.4.4 Utilizando-se a equação a seguir, calcular o número de ressonância das frequências obtidas, sendo que, se necessário, os valores obtidos devem ser arredondados para o número par inteiro mais próximo ao número calculado:

$$n = \frac{f_n}{f_{n+1} + f_n}.2$$

onde

n é o número de ressonância;

f_n é a frequência de ressonância, expressa em megahertz (MHz);

f_{n+1} é a frequência de ressonância imediatamente superior à frequência considerada do conjunto, expressa em megahertz (MHz).

5.4.5 Com a utilização do conjunto descrito em 4.1 alínea c), determinar o valor da capacitância mútua do par, à frequência de 1 kHz, devendo este ser aplicado na equação:

$$Z_O = \frac{n.1000}{4.f_n.C_1} \quad (\Omega)$$

onde

Z_O é a impedância característica do par, expressa em ohms (Ω);

n é o número de ressonância da frequência escolhida;

f_n é a frequência de ressonância mais próxima à frequência de medição especificada para cada cabo, expressa em megahertz (MHz);

C_1 é a capacitância mútua do par, expressa em nanofarads (ηF).

5.5 Determinação da impedância característica pelo método da ponte variável

5.5.1 Utilizando o conjunto de equipamentos descrito em 4.2 alínea a, montar o circuito conforme mostrado na Figura 3.

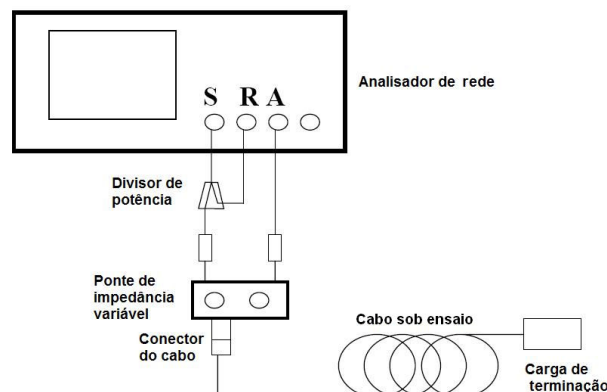



Figura 3 - Impedância característica pelo método da ponte variável

5.5.2 Ajustar a impedância da ponte variável no valor nominal da impedância do cabo a ser ensaiado e a capacitância em 0,0 pF.

5.5.3 Preparar o analisador de rede para medida de reflexão, seguindo o manual de instruções do equipamento, programando-o para realizar medidas nas frequências de 5 MHz até 1000 MHz, caso outras frequências não tenham sido especificadas. Quando não definido na especificação do produto deve ser utilizado um mínimo de 201 pontos de medida.

5.5.4 Realizar o procedimento de calibração do equipamento, seguindo o manual de instruções do fabricante.

5.5.5 Conectar o cabo a ser ensaiado na ponte de impedância variável. Variar o valor de impedância da ponte observando o gráfico no analisador de rede, até que se obtenha, do lado das frequências mais baixas, o mínimo valor para a perda de retorno. Neste momento, ajustar o valor da capacitância, para trazer a região do gráfico situada nas frequências mais altas para o mesmo nível do sinal nas frequências mais baixas. Repetir a operação até que o nível do sinal seja o mais baixo possível. O valor de impedância ajustado na ponte é o valor da impedância característica do cabo ensaiado.

5.6 Determinação da impedância característica pelo método da ponte fixa

5.6.1 Utilizando o conjunto de equipamentos descrito em 4.2 alínea b, montar o circuito conforme mostrado na Figura 4.

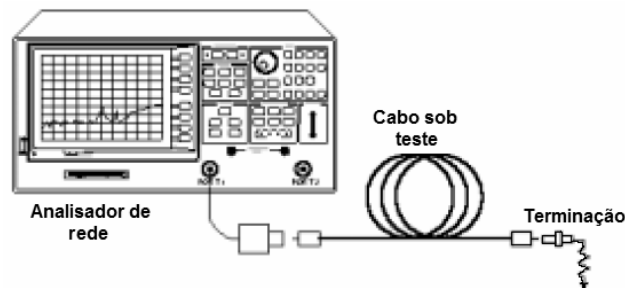



Figura 4 - Impedância característica pelo método da ponte fixa

5.6.2 Ajustar o analisador de rede para realizar as medições entre as frequências de 5 MHz e 210 MHz, caso outras frequências não tenham sido especificadas. Quando não definido na especificação do produto deve ser utilizado um mínimo de 201 pontos de medida.

5.6.3 Realizar o procedimento de calibração do equipamento, seguindo as orientações constantes no manual de instruções do fabricante.

5.6.4 Conectar o cabo a ser ensaiado no terminal do analisador de rede. Colocar na outra extremidade do cabo uma resistência de terminação com impedância próxima à impedância nominal do cabo a ser ensaiado.

5.6.5 Realizar as medições de perda de retorno na faixa de frequências estipulada. O analisador de funções ou computador irá realizar os cálculos necessários à determinação da impedância característica do cabo, conforme equação a seguir:

$$SRL = -20 * \log\left|\frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}\right| \qquad \text{(dB)}$$

onde

SRL é a perda de retorno estrutural, expressa em decibéis (dB);

Z_{in} é a impedância de entrada complexa, expressa em ohms (Ω);

Z_0 é a impedância característica, expressa em ohms (Ω).

5.7 Determinação da impedância característica pelo método varredura de frequência

5.7.1 Este procedimento é indicado para medição da impedância característica pelo método do par em curto circuito e circuito aberto. Este método é especialmente indicado para obtenção da impedância característica linearizada.

5.7.2 Proceder à montagem do circuito de teste conforme método descrito em 5.2.

5.7.3 A impedância característica deve ser obtida a partir da equação:

$$\left|Z_0\right| = K_0 + \frac{K_1}{f^{1/2}} + \frac{K_2}{f} + \frac{K_3}{f^{3/2}} \quad (\Omega)$$

onde

Z_O é a impedância característica, expressa em ohms (Ω);

F é a frequência, expressa em hertz (Hz);

K_O, K_1, K_2, K_3 são os coeficientes de ajuste.

Os valores dos coeficientes são obtidos a partir da matriz a seguir:

$$\left|\begin{matrix} \sum_{i=1}^{N}\left|Z_{in}\right| \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{\left|Z_{in}\right|}{\sqrt{f_i}} \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{\left|Z_{in}\right|}{f_i} \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{\left|Z_{in}\right|}{f_i^{3/2}} \end{matrix}\right| = \left|\begin{matrix} N\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{\sqrt{f_i}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{3/2}} & & \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{\sqrt{f_i}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{2}} \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{2}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{5/2}} \\ \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{3/2}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{2}} & \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{f_i^{5/2}} & \frac{1}{f_i^{3}} \end{matrix}\right| x \left|\begin{matrix} K_0 \\ K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{matrix}\right|$$

a) A linearização da impedância característica deve ser obtida pela solução do sistema de equação apresentado. Programas de computadores podem ser aplicados para o cálculo das constantes de ajuste e os valores da impedância característica linearizada;

b) Quando a impedância característica complexa é requerida, a linearização do ângulo desta impedância deve ser obtida conforme equação a seguir:

$$\angle Z_0 = L_0 + \frac{L_1}{f^{1/2}} + \frac{L_2}{f} + \frac{L_3}{f^{3/2}} \quad \text{(rad)}$$

onde

$\angle Z_0$ é o ângulo da impedância característica (rad);

f é a frequência, expressa em Hertz (Hz);

L_0, L_1, L_2, L_3 são os coeficientes de ajuste para ângulo.

c) Sendo os resultados obtidos a partir de soluções matemáticas, gráficos da impedância em função da frequência são recomendados. A aquisição dos dados, sempre que possível, deve estar apresentada em gráficos que variam com o logaritmo da frequência de medida.

6 Expressão dos resultados

6.1 Os resultados dos cálculos de impedância característica devem ser expressos em números inteiros.

6.2 Os valores de impedância característica devem estar de acordo com os valores prescritos na especificação aplicável ao tipo do cabo avaliado.

6.3 Para os cabos coaxiais o valor da impedância característica a ser considerado é a média dos valores individuais obtidos na faixa de frequência de medição.

6.4 Os resultados obtidos devem ser apresentados em um relatório contendo no mínimo as seguintes informações:

a) título do ensaio e identificação da norma/edição e da técnica ou método de medição;

b) identificação do laboratório ou do local do ensaio e data do ensaio;

c) identificação e características do produto ensaiado;

d) resultados da medição, incluindo valores medidos e calculados;

e) comentários relativos às ocorrências relevantes ao ensaio;

f) identificação do responsável técnico.

Anexo A
(informativo)

Fluxograma do ensaio